
**Турбокомпрессоры. Правила проведения
испытания для определения рабочих
характеристик**

Turbocompressors — Performance test code

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 5389:2005

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/21cc9fd7-c750-4b5d-95ba-64addc4efb27/iso-5389-2005>

Ответственность за подготовку русской версии несёт GOST R
(Российская Федерация) в соответствии со статьёй 18.1 Устава ISO



Ссылочный номер
ISO 5389:2005(R)

Отказ от ответственности при работе в PDF

Настоящий файл PDF может содержать интегрированные шрифты. В соответствии с условиями лицензирования, принятыми фирмой Adobe, этот файл можно распечатать или смотреть на экране, но его нельзя изменить, пока не будет получена лицензия на установку интегрированных шрифтов в компьютере, на котором ведется редактирование. В случае загрузки настоящего файла заинтересованные стороны принимают на себя ответственность за соблюдение лицензионных условий фирмы Adobe. Центральный секретариат ISO не несет никакой ответственности в этом отношении.

Adobe - торговый знак Adobe Systems Incorporated.

Подробности, относящиеся к программным продуктам, использованным для создания настоящего файла PDF, можно найти в рубрике General Info файла; параметры создания PDF оптимизированы для печати. Были приняты во внимание все меры предосторожности с тем, чтобы обеспечить пригодность настоящего файла для использования комитетами – членами ISO. В редких случаях возникновения проблемы, связанной со сказанным выше, просим информировать Центральный секретариат по адресу, приведенному ниже.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 5389:2005

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/21cc9fd7-c750-4b5d-95ba-64addc4efb27/iso-5389-2005>



ДОКУМЕНТ ЗАЩИЩЕН АВТОРСКИМ ПРАВОМ

© ISO 2005

Все права сохраняются. Если не указано иное, никакую часть настоящей публикации нельзя копировать или использовать в какой-либо форме или каким-либо электронным или механическим способом, включая фотокопии и микрофильмы, без предварительного письменного согласия ISO по адресу ниже или членом ISO в стране регистрации пребывания.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.org
Web www.iso.org

Опубликовано в Швейцарии

Содержание

Страница

Предисловие	iv
1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	1
3 Символы и определения	1
3.1 Символы и единицы измерения	1
3.2 Определения	5
4 Гарантии	6
4.1 Общие положения	6
4.2 Предварительные условия для гарантии	7
4.3 Предмет гарантии	7
4.4 Дополнительные гарантии	8
4.5 Гарантийное сравнение.....	8
4.6 Гарантии для производства серии	8
5 Методы измерений и измерительное оборудование.....	8
5.1 Общие положения	8
5.2 Давления	9
5.3 Температуры	10
5.4 Плотность газа	10
5.5 Состав газа.....	11
5.6 Скорость газа	11
5.7 Объемный и массовый расход	12
5.8 Скорость вращения.....	12
5.9 Мощность	12
6 Испытание для проверки рабочих характеристик.....	13
6.1 Приготовление к испытанию	13
6.2 Выполнение испытания	14
6.3 Оценка результатов испытания	15
6.4 Измерение погрешности результатов испытания	15
7 Преобразование результатов испытания в гарантийные условия	25
7.1 Общие положения	25
7.2 Преобразование (конверсия)	25
8 Гарантийное сравнение.....	38
8.1 Предмет для сравнения	38
8.2 Выполнение.....	38
8.3 Специальные примечания.....	47
9 Протокол испытания.....	48
Приложение А (нормативное) Схема последовательности операций и численные значения для отношения объемных расходов.....	49
Приложение В (нормативное) Испытания для определения отношения объемных расходов вне подобия потока.....	52
Приложение С (нормативное) Метод коррекции влияния числа Рейнольдса на рабочую характеристику центробежных компрессоров.....	57
Приложение D (информативное) Вывод уравнений для вычисления погрешности результатов измерений.....	61
Приложение E (информативное) Специальные термины для компрессоров.....	63
Приложение F (информативное) Примеры отчетов приемочных испытаний.....	96
Библиография.....	142

Предисловие

Международная организация по стандартизации (ISO) является всемирной федерацией национальных организаций по стандартизации (комитетов-членов ISO). Разработка международных стандартов обычно осуществляется техническими комитетами ISO. Каждый комитет-член, заинтересованный в деятельности, для которой был создан технический комитет, имеет право быть представленным в этом комитете. Международные организации, правительственные и неправительственные, имеющие связи с ISO, также принимают участие в работах. Что касается стандартизации в области электротехники, то ISO работает в тесном сотрудничестве с Международной электротехнической комиссией (IEC).

Проекты международных стандартов разрабатываются в соответствии с правилами Директив ISO/IEC, Часть 2.

Основной задачей технических комитетов является разработка международных стандартов. Проекты международных стандартов, принятые техническими комитетами, рассылаются комитетам-членам на голосование. Для опубликования их в качестве международного стандарта требуется одобрение не менее 75 % комитетов-членов, принимающих участие в голосовании.

Следует иметь в виду, что некоторые элементы настоящего международного стандарта могут быть объектом патентных прав. Международная организация по стандартизации не может нести ответственность за идентификацию какого-либо одного или всех патентных прав.

Международный стандарт ISO 5389 подготовлен Техническим комитетом ISO/TC 118, *Компрессоры и пневматические инструменты, машины и оборудование*, Подкомитетом SC 1, *Компрессоры технологического процесса*

Настоящее второе издание отменяет и замещает первое (ISO 5389:1992), которое технически пересмотрено. В частности, объединена в одно целое улучшенная технологическая карта потоков (расходов) для определения наладочного режима, используя условия подобия и с учетом метода коррекции числа Рейнольдса.

Определены три класса преобразования результатов испытания, включая испытания, выходящие за рамки условий подобия потоков.

Пересмотрены подразделы измерения погрешностей. Добавлена проверенная и доказанная процедура определения погрешностей измерений с использованием разностного метода для того, чтобы иметь возможности удовлетворения всех проверочных требований, особенно тех, которые возникают в отношении многокорпусных компрессоров и машинных установок, состоящих из разных приводных механизмов и компрессоров. Подразделы по гарантированному сравнению были расширены с учетом всех возможных случаев кривых рабочих характеристик и гарантийных точек.

Международный стандарт ISO 5389 подготовлен на основе документов ASME PTC 10^[1], VDI 2045-1^[2] и VDI 2045-2^[3].

Турбокомпрессоры. Правила проведения испытания для определения рабочих характеристик

1 Область применения

Настоящий международный стандарт применяется для проведения испытаний на турбокомпрессорах всех типов с целью определения их рабочих характеристик. Он не применяется к вентиляторам и высоковакуумным насосам или струйным компрессорам с движущимися приводными компонентами.

Турбокомпрессоры заключают в себе механизмы, в которых впуск, сжатие и выпуск являются непрерывными проточными процессами. Газ подается на лопаточные колеса, сжимается и замедляется с последующим увеличением давления на неподвижных статорах с лопатками и без лопаток.

Настоящий международный стандарт предоставляет стандартные положения (нормы и правила) для приготовления, процедуры, определения стоимости и оценки испытаний рабочих характеристик упомянутых выше компрессоров. Приемочное испытание функционирования базируется на этих нормах и правилах для определения рабочих характеристик. Приемочные испытания предназначены для того, чтобы продемонстрировать выполнение условий заказа и гарантий, заданных по контракту.

2 Нормативные ссылки

Следующие нормативные документы являются обязательными для применения с настоящим международным стандартом. Для жестких ссылок применяются только указанное по тексту издание. Для плавающих ссылок необходимо использовать самое последнее издание нормативного ссылочного документа (включая любые изменения).

ISO 5167-1, *Измерение потока текучей среды с помощью устройств измерения перепада давления, которые встроены в заполненные трубопроводы круглого сечения. Часть 1. Общие принципы и требования*

3 Символы и определения

3.1 Символы и единицы измерения

3.1.1 Латинские буквы

Символ	Смысл	Единица измерения
A	площадь	m^2
a	звуковая скорость	м/с
B	допуск на обработку	%
b	ширина на выходе 1-го лопаточного колеса	м
c	скорость	м/с
c_p, c_v	удельная теплоемкость	кДж/(кг·К)
c_i	оценочные коэффициенты	—
D	наружный диаметр 1-го лопаточного колеса	м

Символ	Смысл	Единица измерения
f	поправочный коэффициент	—
f_x	среднее относительное отклонение	
G	класс качества	%
g	местное ускорение под действием силы тяжести	м/с ²
h	удельная энтальпия	кДж/кг
k	показатель адиабаты	—
k_T	показатель адиабаты, температура	—
k_V	показатель адиабаты, объем	
l	длина колонны	мм
Ma	число Маха	—
M_t	вращающий момент	Нм
M	молярная масса	кг/мол
m	температурный показатель	—
\dot{m}	массовый расход	кг/с
N	частота вращения	1/с
n	показатель политропы	—
P	мощность	кВт
p	давление	МПа (бар)
\dot{Q}	тепловой поток	кВт
R	удельная газовая постоянная	Дж/(кг·К)
R_a	усредненная шероховатость	мкм
R_{mol}	универсальная газовая постоянная	Дж/(кмоль·К)
Re	число Рейнольдса	—
S	шаг цифрового (дискретного) измерения	—
s	удельная энтропия	кДж/(кг·К)
T	термодинамическая температура	К
t	температура	°С
u	скорость конца лопатки, отнесенная к D	м/с
u	удельная внутренняя энергия	кДж/кг
V	доверительный интервал погрешности измерения	—
v	удельный объем	м ³ /кг
\dot{V}	объемный расход	м ³ /с
W	результатирующая функция	—
w	массовая фракция	—
X	функция сжимаемости	—
X_N	отношение пониженных скоростей вращения	—
x	содержание испарения, отнесенное к влажной массе испарения того же самого газа	кг/кг

Символ	Смысл	Единица измерения
$x_{\text{(нижний индекс)}}$	содержание испарения в смесях испарение/газ, отнесенное к сухому газу	кг/кг
Y	функция сжимаемости	—
y	значение функции	—
y	удельная работа сжатия	кДж/кг
Z	коэффициент сжимаемости	—
z	количество групп ступеней	—

3.1.2 Греческие буквы

Символ	Смысл	Единица измерения
α	коэффициент переноса тепла	Вт/(м ² ·К)
β	коэффициент кубического расширения	1/К
γ	коэффициент взвешивающий	—
Δ	разность	—
ε	коэффициент вычислений	—
η	эффективность	—
η	динамическая вязкость	Ns/m ²
ϑ	отношение значений ($RZ_1 T_1$)	—
κ	отношение удельных теплоемкостей	—
ν	политропное отношение	—
ν	кинематическая вязкость	м ² /с
Π	коэффициент давления	—
ρ	плотность	кг/м ³
τ	относительная погрешность измерения	—
ϕ	отношение коэффициентов объемных расходов	—
φ	коэффициент расхода	—
$\varphi_{\text{(нижний индекс)}}$	относительная влажность	—
ψ	коэффициент работы эталонного процесса (сжатия)	—
ω	угловая скорость	1/с

3.1.3 Нижние индексы

Индекс	Смысл
1	впуск (сторона всасывания)
2	выпуск (сторона нагнетания)
I, II, III, ..., z	ступени, нумерованные в направлении потока
∞	при бесконечно большом числе Рейнольдса
A	неохлаждаемая секция компрессора с промежуточным охлаждением
air	сухой воздух
amb	окружающая среда (воздух, температура)

Индекс	Смысл
an	допущение, приводная машина
av	среднее
B	охлаждаемая секция многоступенчатого компрессора с промежуточным охлаждением
cal	поверка (калибровка)
co	(величина), преобразованная в гарантийные условия
cog	(величина), преобразованная в отношении значения давления и объемный расход на впуске в гарантийной точке (рабочей характеристики)
comb	объединенные секции
cond	конденсат
cou	сопряжение (соединительная муфта)
crit	критический
d	динамический
dev	отклонение
dr	приводная машина
dry	сухой
eff	эффективный
Ex	экстремальное значение ϕ
g	гарантийные или исходные условия
gas	газ
<i>i</i>	<i>i</i> – ый член суммы ($i = 1, 2, 3, \dots$)
i	внутренний
in	вход
<i>j</i>	число групп ступеней ($j = I, II, III, \dots, z$)
k	показатель адиабаты
L	утечка
lub	смазка
M	измерение, двигатель
<i>m</i>	массовый расход
mech	механический
n	стандартное состояние
<i>N</i>	частота вращения
out	выход
p	политропный
<i>P</i>	мощность
Pr	эталонный или стандартный процесс
pr	предварительно вычисленные или прогнозируемые результаты испытания
rad	излучение и конвекция
ran	подходящий измерительный диапазон прибора
Re	(величина), отнесенная к числу Рейнольдса

Индекс	Смысл
red	сниженная скорость
ref	опорное значение
res	результат
s	изоэнтروпический
sat	насыщенный пар/испарение
seal	уплотняющая жидкость
side	боковой поток или экстракции (отбор)
st	статический
sup	подача
sur	поверхность
sys	система
T	изотермический
t	температура
te	результат испытания
term	Зажимы (клеммы)
tol	допустимое отклонение
tot	всего (полный)
u	концевой или периферийный
us	используемый
V	объем
vap	испарение, пар
wet	влажный
wf	рабочая жидкость
W	охлаждающая вода или жидкость смазочно-охлаждающая
x	между впуском и выпуском
y	значение функции

Если нет особого замечания к чему-либо противоположному, то термодинамические переменные состояния, использованные без индексов в этом международном стандарте, характеризуют полное состояние.

3.2 Определения

В настоящем документе применяются следующие термины и определения. Дополнительные термины и определения даются в Приложении Е.

3.2.1 отношение коэффициентов объемных расходов ratio of volume flow ratios

$$\phi = \frac{(\dot{V}_1 / \dot{V}_2)_{te}}{(\dot{V}_1 / \dot{V}_2)_g} \quad (1)$$

3.2.2 отношение пониженных скоростей вращения ratio of reduced speeds of rotation

$$X_N = \frac{\left(\frac{N}{\sqrt{R \cdot Z_1 \cdot T_1}} \right)_{te}}{\left(\frac{N}{\sqrt{R \cdot Z_1 \cdot T_1}} \right)_g} \quad (2)$$

3.2.3

число Маха окружной скорости концевой кромки (лопаточного колеса)
tip Mach number

$$Ma_u = \frac{u}{a_1} \tag{3}$$

3.2.4

число Рейнольдса окружной скорости концевой кромки (лопаточного колеса)
tip Reynolds number

$$Re_u = \frac{ub}{\nu_1} \tag{4}$$

3.2.5

коэффициент объемного расхода
volume flow coefficient

$$\varphi = \frac{\dot{V}_1}{\frac{\rho}{4} \cdot D^2 \cdot u} \tag{5}$$

3.2.6

коэффициент работы эталонного процесса (сжатия)
reference process work coefficient

$$\psi_{Pr} = \frac{y_{Pr}}{u^2 / 2} \tag{6}$$

3.2.7

коэффициент энтальпии
enthalpy coefficient

$$\psi_i = \frac{\Delta h}{u^2 / 2} \tag{7}$$

3.2.8

отношение RZ_1T_1
 RZ_1T_1 ratio

$$g_j = \frac{(R \cdot Z_1 \cdot T_1)_j}{(R \cdot Z_1 \cdot T_1)_1} \qquad g_{j,B} = \frac{(R \cdot Z_1 \cdot T_1)_j}{(R \cdot Z_1 \cdot T_1)_{1,B}} \tag{8}$$

где 1,В есть первая ступень охлаждаемой секции В

3.2.9

секция
section

от одной до нескольких последовательных ступеней турбокомпрессора без оборудования промежуточного охлаждения, через которые протекает один и тот же поток массы

4 Гарантии

4.1 Общие положения

Заказчик и производитель должны заключить контрактное соглашение, в котором задается, какие свойства и характеристики компрессора предполагается гарантировать и демонстрировать на приемочном испытании. Проверка этих свойств осуществляется с помощью значений, измеренных в ходе приемочного испытания и преобразованных в условия гарантии.

Выполнение гарантии можно требовать только в случае, если на приемочном испытании все компоненты компрессорной системы находятся в надлежащем состоянии (см. 6.1.3).

4.2 Предварительные условия для гарантии

Предварительные условия для гарантии, изменение которых будет влиять на функционирование компрессора, должны быть заданы в контракте на поставку. Эти условия могут включать следующее:

- a) давление на впуск (или давление нагнетания в случае компрессора всасывающего типа) и температура на впуске;
- b) в случае боковых потоков, направленных внутрь, их термодинамические состояния и отношение боковых массовых расходов к массовому расходу на впуске; в случае промежуточной экстракции отношение экстрагированных массовых расходов к массовому расходу на впуске и давление экстракции;
- c) в отношении компрессоров с промежуточным охлаждением, температуры вторичного охлаждения и падения давления между уместными секциями компрессора;
- d) физические свойства газа или испарения и его состав в объемных или массовых фракциях;
- e) жидкость смазочно-охлаждающая, ее массовый расход и температура на впуске;
- f) рабочий режим приводного механизма (например, разности энтальпий, состояние впуска и выпуска, теплотворная способность топлива, тип, напряжение и частота электрического тока, скорость);
- g) состояние впуска и выпуска, отнесенное к площади сечения потока на входе и выходе компрессора;
- h) скорость (необходимые отклонения, чтобы удовлетворять гарантийные точки, должны быть согласованы между заказчиком и производителем).

4.3 Предмет гарантии

ISO 5389:2005

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/21cc9fd7-c750-4b5d-95ba-64adde4efb27/iso-5389-2005>

Следующие значения должны быть гарантированы по предварительным условиям, заданным в 4.2:

- a) объемный действительный расход на впуске, как определено в Е.4.2;
- b) давление нагнетания (или давление на входе в отношении компрессоров всасывающего типа) и промежуточные значения давления в случае боковых потоков, направленных внутрь, и промежуточной экстракции;
- c) мощность для заданных объемных расходов на впуске и давления нагнетания (или давление на входе в отношении компрессоров вакуумного типа) в следующей форме:
 - мощность компрессора на его сопряжении (соединительной муфте), или
 - мощность компрессора с редуктором на сопряжении приводного механизма, или
 - электрическая мощность на зажимах приводного электродвигателя, или
 - потребление топлива приводным механизмом.

В случае, когда компрессор и приводной механизм имеют общие компоненты (например, подшипники, масляные насосы и т.д.), то должно быть заключено соглашение, детализирующее способ, с помощью которого планируется соразмерно распределять потери, возникающие внутри этих компонентов (см. 5.9).

Связанная мощность или эффективность, имеющая отношение к подходящему эталонному процессу (см. Е.5), может быть также гарантирована вместо мощности.

- d) мощность вспомогательного оборудования (например, масляных насосов или насосов охлаждающей воды) в случае, когда она не включено в гарантийную мощность;
- e) следующие пределы рабочего диапазона:
- объемный максимальный действительный расход на впуске при заданном давлении нагнетания или максимальное давление при заданном объемном действительном расходе на впуске,
 - объемный минимальный действительный расход на впуске при заданном давлении нагнетания,
 - предел резкого возрастания давления (скачка).

См. Е.9.

4.4 Дополнительные гарантии

Дополнительные гарантии (для эффективности при частичной нагрузке, уплотнительных материалов, температуры сжатого газа, охлаждающей эффективности охладителей и конденсаторов) могут быть потребованы в случаях, когда они являются значимыми для работы или по любым другим причинам.

4.5 Гарантийное сравнение

В отношении приемочного испытания, результаты испытания, измеренные и преобразованные в условия гарантии, должны оцениваться против гарантийных значений (см. Раздел 8), принимая допущение для пределов погрешностей измерений (см. 6.4).

Любые производственные допуски для гарантии необходимо считать составной частью контракта на поставку, а не этого международного стандарта.

4.6 Гарантии для производства серии

В случае, когда серия компрессоров одного и того конструктивного решения изготавливается в пределах короткого периода времени, то не принято выполнять приемочное испытание на каждом отдельном компрессоре. Такое испытание, проведенное на нескольких компрессорах, выбранных из серии наугад, успешно завершённое и составляющее испытание типа, необходимо считать достаточным. Подробности этой процедуры должны определяться контрактом на поставку.

5 Методы измерений и измерительное оборудование

5.1 Общие положения

5.1.1 Методы измерений и погрешности измерений

Следующие измерительные методы и измерительные приборы, включая правила, необходимые для их применения, должны быть использованы в подходящих случаях.

Другие измерительные методы могут быть использованы по соглашению, касающегося проведения испытания и пригонки.

5.1.2 Оборудование для измерения

Точки замеров и оборудование для измерения давления, температуры, расхода, мощности и скорости должны быть включены в компрессор на этапе его проектирования и установки в последующую систему. Прежде всего, необходимо обеспечить во всех точках измерения расхода, как задано в ISO 5167-1, наличие адекватных участков прямой трубы и подходящие фланцевые соединения для

монтажа измерительных диафрагм и патрубков. Рисунки Е.3 и Е.4 иллюстрируют подходящее расположение для двух точек замера, каждое для давления и температуры на компрессоре. В гарантии следует сослаться на представленные и подготовленные точки замера. Соединительные муфты для образцовых измерительных приборов следует предусмотреть в главных точках замера.

5.1.3 Измерительные приборы

Следующие измерительные приборы должны быть использованы на приемочных испытаниях:

- a) измерительные приборы, которые прошли поверку путем сравнения с измерительными приборами, заданными в 5.1.3 с),
- b) измерительные приборы, для которых представляется поверка или свидетельство о поверке, выданное аккредитованным органом власти,
- c) другие проверенные и доказанные измерительные приборы известной точности, использование которых согласовано между сторонами контракта,

Все измерительные приборы (измерительные диафрагмы и патрубки в частности) должны быть проверены без промедления перед установкой и/или до и после испытания на приведение этих приборов в определенное состояние и точность размеров. Дополнительно необходимо удостовериться, что место установки, монтаж и сам измерительный прибор соответствуют подходящим техническим требованиям. Результат этой проверки должен быть зарегистрирован.

5.1.4 Использование преобразователей (датчиков); сбор данных

Когда электронные измерительные приборы используются с преобразователями (датчиками) любого типа и возможна цифровая оценка, то преобразователи (датчики) должны быть калиброваны, а результаты поверки должны сохраняться. Должна быть возможность проверки измерительных систем подходящими средствами. Аналогично, это положение применяется для того, чтобы использовать системы сбора данных и электронную обработку данных.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/21cc9fd7-c750-4b5d-95ba-64addc4efb27/iso-5389-2005>

5.2 Давления

5.2.1 Статическое давление

Статическое давление, присутствующее на стенке, следует измерять с помощью отверстий, просверленных в этой стенке. Такие отверстия не должны иметь ни заусенцев, ни раструбного раскрытия. Диаметр отверстий должен оставаться, по возможности, малым, а нижний предел адекватным тому, чтобы избежать опасности закупорки.

В длинных прямых трубах определяется поток параллельно оси трубы. Статическое давление можно принимать за постоянную величину в каждом плоском поперечном сечении потока, перпендикулярного оси трубы. Пробы давления с помощью просверленного в трубе отверстия являются достаточными для цели измерения (см. аппаратуру отбора пробного давления на Рисунках Е.3 и Е.4).

5.2.2 Динамическое и полное давление

В случае, когда известна усредненная скорость, c , по измерению расхода и площади сечения потока, то среднее динамическое давление, p_d , может быть вычислено по этим данным. Имея значение статического давления, p , среднее полное давление, p_{tot} , может быть вычислено следующим образом:

Для усредненной скорости:

$$c = -\frac{c_p \cdot p \cdot A}{\dot{m} \cdot R \cdot Z} + \sqrt{\left(\frac{c_p \cdot p \cdot A}{\dot{m} \cdot R \cdot Z}\right)^2 + 2 \cdot c_p \cdot T_{tot}} \quad (9)$$

Для отношения значений полного и статического давления:

$$\frac{p_{\text{tot}}}{p} = \frac{p + p_d}{p} = \left(\frac{T_{\text{tot}}}{T} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (10)$$

Эта аппроксимация для вычисления динамического и полного давления при усредненной скорости, c , считается достаточно правильной в области применения текущих правил.

5.2.3 Монтаж измерительных линий

Измерительные линии, монтируемые между точкой отбора проб и аппаратурой отображения информации, должны устанавливаться с большой осторожностью. Любые утечки должны быть устранены. Должны быть приняты меры для предотвращения закупорки посторонними веществами. В случае, когда в измерительных линиях образуется конденсат, то такие линии должны быть полностью заполнены конденсатом или надежно свободными от конденсата. Это достигается, например, путем размещения измерительного прибора на более высоком геодезическом уровне, чем точка измерения.

5.3 Температуры

Статическая температура, T , и суммарная температура, T_{tot} , не могут быть измерены непосредственно как переменные состояния газа в потоке.

Отношение значений суммарной и статической температуры:

$$\frac{T_{\text{tot}}}{T} = \frac{1}{1 - \frac{c^2}{2 \cdot c_p \cdot T_{\text{tot}}}} \quad (11)$$

Температурные датчики обычного типа и размера (жидкостные термометры, термопары, термометры сопротивления с карманом для установки или без него) смещаются под действием силы тяготения (даже при правильной установке) до их, так называемой характеристической температуры, которая находится между T и T_{tot} , как только датчики открыты для воздействия текущего газа. Однако имеются температурные зонды ("приборы для измерения суммарной температуры"), например, термометры типа пластины, крюка и диффузора, показание которых очень близко соответствует суммарной температуре (в спокойном состоянии) газа.

В случае, когда можно показать, что эффект восстановления скорости не является значимым, то им можно пренебречь. Но ни в коем случае его нельзя не учитывать, если скоростной напор превышает 0,5 % удельной работы сжатия. Коэффициент восстановления скорости, который предполагается использовать, подлежит согласованию. В отсутствие каких-либо более специфических значений можно использовать следующее:

- a) термометры и термопары в карманах: 0,65;
- b) незащищенные термопары: 0,80;
- c) незащищенные термопары с изолирующими экранами: 0,97.

5.4 Плотность газа

Для газов и испарений известного состава плотность может быть установлена из уравнений состояния, по картам состояния или таблицам. Что касается газовых смесей неизвестного состава, то плотность следует измерять непосредственно с использованием общепризнанного метода.

5.5 Состав газа

5.5.1 Общие положения

В случае, когда смеси газов или смеси газа/испарения сжимаются, состав смеси, если необходимо, должен проверяться через постоянные интервалы, используя общепризнанный метод. Периодичность, характер и точность таких проверок может изменяться в соответствии с колебаниями в составе газа.

5.5.2 Содержание влаги

5.5.2.1 Влажность воздуха

Относительная влажность воздуха, выраженная в процентах, при атмосферном давлении (p_{amb}) может быть вычислена следующим образом, используя показания температуры мокрого (t_{wet}) и сухого термометра (t_{dry}) психрометра (по определению, например, Ассмана) и уравнение аппроксимации Спранга (Sprung):

$$\varphi_{vap} = \frac{p_{sat} - 0,5 \cdot (t_{dry} - t_{wet}) \cdot \frac{p_{amb}}{755}}{p_{dry}} \cdot 100 \quad (12)$$

где

p_{sat} давление насыщенного испарения при t_{wet} ;

p_{dry} давление насыщенного испарения при t_{dry} ;

p_{amb} показание давления в окружающей среде.

Относительную влажность (φ_{vap}) можно считать из карты $h_{air} - x_{air}$ для любого давления воздуха, p , при известных значениях для t_{wet} и t_{dry} и барометрического уровня p_{amb} .

Относительная влажность сжатого воздуха может быть установлена путем отвода бокового потока от центра напорной линии и снижения давления до атмосферного. Относительную влажность, φ_{vap} , измеренную при атмосферном давлении затем можно преобразовать в состояние на линии.

Признанные методы, но другие, чем метод психрометрического измерения, также являются допустимыми (например, методы точки росы, вымораживания, хлорида лития и впитывания).

5.5.2.2 Влага в других газах

Другие методы, упомянутые в 5.5.2.1, рекомендуются для использования с другими газами, чем воздух [вместо Уравнения (12)].

5.6 Скорость газа

5.6.1 Количественное измерение

Численное значение для местной скорости может быть измерено с использованием показывающих анемометров или зондов (например, Прандтля или трубки Пито), которые являются независимыми от направления в границах определенных пределов (см. 5.7.3).

5.6.2 Определение направления

Направление скорости может быть установлено, используя неподвижные калиброванные зонды, или посредством разностей значений давления, измеренного на регулируемых зондах.